

美濃地震台南震害區之大地環境特性

李德河^{1,2} 吳建宏¹ 蔡百祥¹

1 國立成功大學土木工程系/ 2國家地震工程研究中心南部實驗組

林宏明

清野純史

國立成功大學公共工程研究中心

京都大學大學院地球環境學堂

摘要

2016年2月6日凌晨發生芮氏規模6.6之地震，震央在高雄市美濃區，但卻在20多公里外的台南市引發嚴重的震害，包括土壤液化及高樓倒塌、民宅損毀以及橋樑錯位等。由中央氣象局的地震報告可知地震時在台南市的南北各處的震度大都是5級，但發生嚴重液化災情的安南區、北區、中西區及新市區、新化區多位在台南台地的西北方及東北方，而結構物受損的地點則分佈於東區、歸仁區、關廟區、永康區、玉井區等處則是在台南台地的東南部及東方，顯而易見不同種類震害的分佈具有地域性而與台南的大地環境有關。因此，本文乃由台南的海岸線遷移來瞭解台南的地層沈積環境的變化，再由工程鑽探井的資料調查，來分析不同的沈積環境中地層的組成特性及其與震害間的關係。

由於美濃地震引發震害的地點大都位在曾文溪以南，二仁溪以北的範圍內，因此本文的台南震害區大地環境特性的調查亦以此區域為探討對象，期望所得調查結果可作為而後加強地震防災措施時之參考。

關鍵字：美濃地震、台南震害區、大地環境。

The Geotechnical Environment of the Damage Zone in Tainan Caused by the Meinong Earthquake

Der-Her Lee Jian-Hong Wu Pai-Hsiang Tsai

Department of Civil Engineering, National Cheng Kung University

Hung-Ming Lin

Public Construction Research and Development Center, National Cheng-Kung University

Junji Kiyono

Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University, Japan

Abstract

On February 6, 2016, an earthquake happened occurred with $M_L6.6$ in south Taiwan. The epicenter of the earthquake was located in Kaohsiung, but the earthquake caused severe damage 20 km away in Tainan city, including soil liquefaction, the collapse of a high rise building, damage to residential houses, and the displacement of bridges. Reports of the Central Weather Bureau, Taiwan, show that Tainan City reached seismic intensity level V. Moreover, the soil liquefactions occurred in the northwest and northeast parts of the Tainan tableland, in the An-nan District, North District, and West Central District, and Sinshih District. Structures were damaged in the south and the southeast parts of the Tainan tableland, in the East District, Gueiren District, Guanmiao District, and Yujing District. Geotechnical environment may be a key factor to investigating the distribution of the disasters. This paper discusses the changes of sedimentary environment from the movement of the coast in Tainan. Then, the impact of the geotechnical properties in different sedimentary environments are examined to investigate the damage distributions by the borehole data.

The discussed zone, with major seismic damages, is between the Erren River in the south and Tsengwen River to the north. The paper serve as a reference to increase the seismic resistance of Tainan city.

Key Words : Meinong earthquake, Tainan damage zone, geotechnical environment.

地工技

一、前言

2016年2月6日凌晨3時57分在高雄美濃地區發生芮氏規模6.6的地震，震源深度為14.6公里，在震央附近雖未引起明顯的災情，但卻在20多公里外的台南市造成嚴重的災害，有大樓傾塌、民房震損、快速道路橋樑錯位，還引發多處土壤液化、房屋傾斜下陷等震害。嚴重的土壤液化是發生於安南區、北區、中西區、新市區及新化區，如圖一所示(台南市政府水利局，2016)，而結構物震損多發生於東區、仁德區、永康區、新化區、歸化區、關廟區及玉井區，如圖二所示(國家地震中心，2016)。若由古台南城所在的台南台地來看，土壤液化災區多分佈在台地的西北方及東北方，而結構物震損區則散佈在台地的東南角及台地的東方。

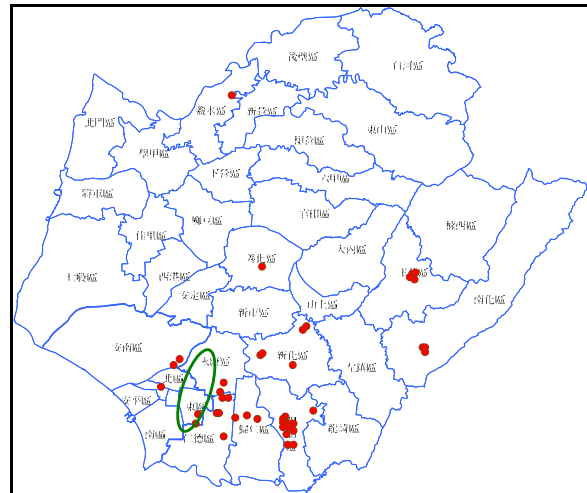
雖然由中央氣象局的報告顯示，此次美濃地震在新化的震度達到7級，可是由圖三(中央氣象局，2016)可知在台南市環繞著台南台地的北、東、南方震度都是5級。在震度相同卻在不同區域引發不同種類的震害，明白的顯示出區域地層的條件與震害的種類，應有相當密切的關係。

本文乃由台南的海岸線的變遷來探討台南地層的形成以及其與地震引發的震害之間

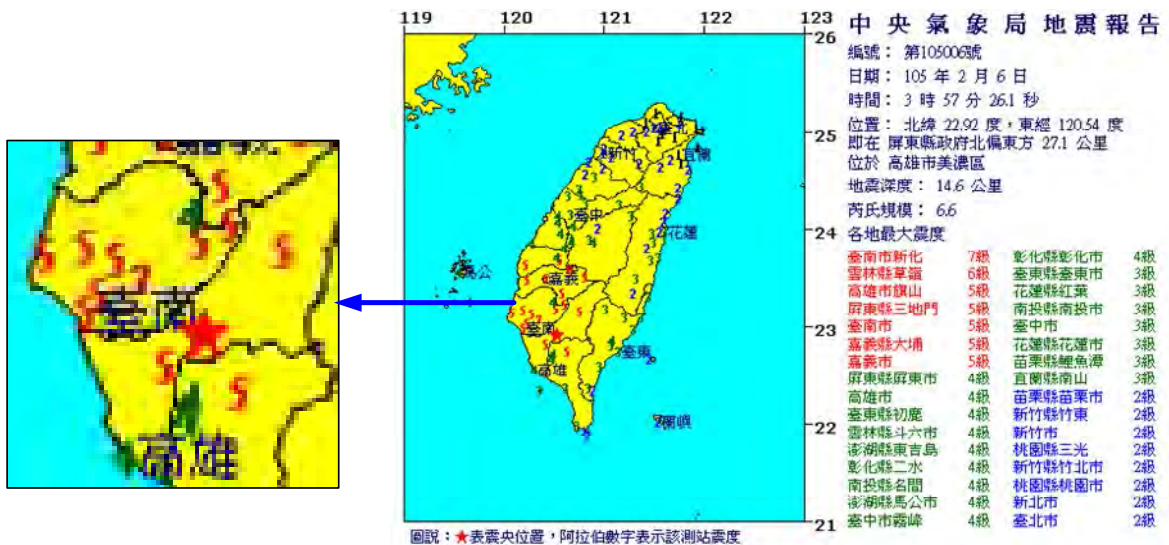
的關係，由於美濃地震所產生的土壤液化及結構物震損災害多位在曾文溪以南二仁溪以北，所以本文亦以此範圍作為探討的區域。



圖一 土壤液化位置圖(台南市政府水利局，2016)



圖二 結構物受損位置圖(國家地震中心，2016)



圖三 美濃地震震度圖(中央氣象局，2016)

地工技術

二、台南的海岸線變遷及沈積環境的變化

台南現在的地形平原多，山地少，但大半的平原在數百年前尚是汪洋一片，地形激烈的變化意味著地層的沈積環境及新形成的地層具多樣性與複雜性。要知道台南震害區近四百年以來的地形變化及海陸遷移，可以翻開自荷治時期(西元1624年-西元1662年)以來各朝各代所繪製的海圖及地圖。但若瞭解四百年以前史前時代台南海陸分際的演變，則在考古學家的協助下將可概略知曉自舊石器時代左鎮人時期(30,000年前-20,000年前)以來各史前文化時期台南海岸線位置的變遷。

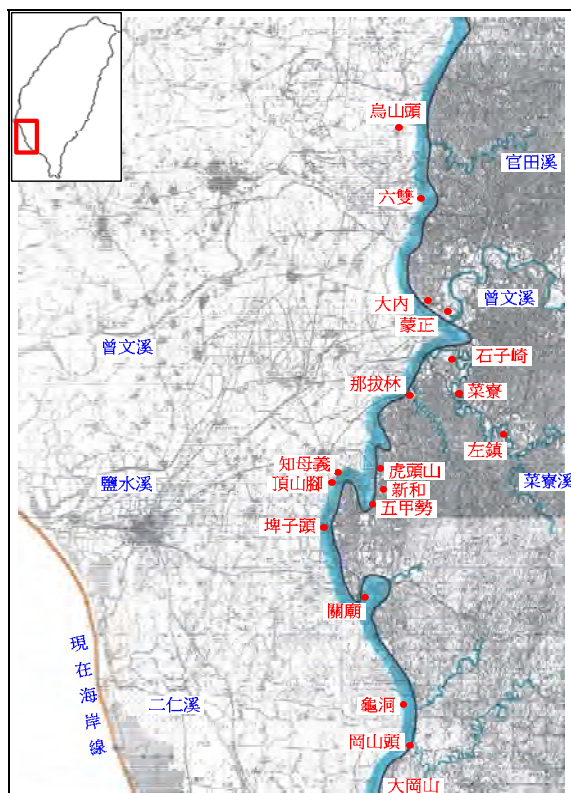
台灣的史前史在台南附近區域可上溯到左鎮人時期(30,000年前-20,000年前)，其次為大坌坑文化時期(6,000年前-4,500年前)、牛稠子文化時期(4,500年前-3,500年前)、大湖文化時期(3,500年前-2,000年前)、蔦松文化時期(2,000年前-400年前)。自日治時代以來，考古學者在台南地區發掘出不少不同文化時期先民的遺址及貝塚。而貝塚是先民們在食用魚貝類後，挖坑將廢棄貝殼等拋棄、堆置的地方，其就是古代的垃圾掩埋場。由於可以大量取得魚貝類的地方一定是靠近海邊，因此出現貝塚的地方，可以認定是古代的海邊，而將考古發掘出來的貝塚位置加以連結，便可推測先民時代的海岸線位置。此外，在同一文化時期、同一地區若出現了許多先民遺址時，則最靠近外圍的遺址就是最接近海邊，依此將最靠近海邊的遺址以線串連，亦可概略定出當時的海岸線位置。

在左鎮人時期，台南地區的海岸線約在當今麓山帶的西緣，如圖四所示(李等人，2015)。再根據朱(2012)對流經台南地區的鹽水河流域中出土的75處史前時期遺址的位置，依所屬文化時期而分，如圖五(a)-(d)所示。根據各文化時期最靠近外圍的遺址位置及其現在的高程以及考量台南台地、新化丘陵、中洲台地每年上昇的速度，可以推估出各文化

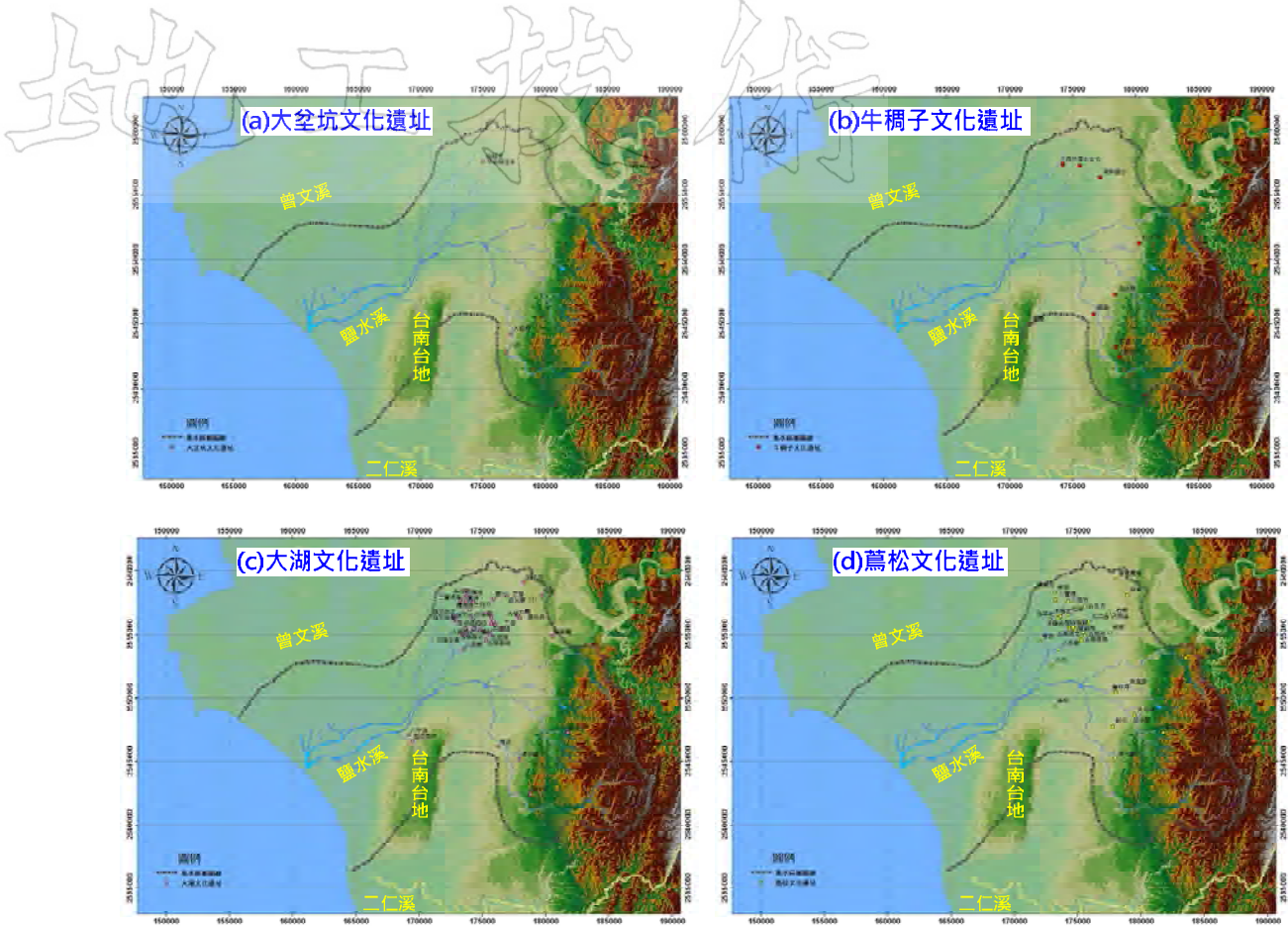
時期在曾文溪以南的海岸線位置，如圖六(a)-(d)(李等人，2015)。

由圖六可知「古台南島」(台南台地)是由大坌坑文化時期逐漸出露水面，原為一沙洲島，其與新化丘陵之間隔著「古大灣海峽」遙遙相對。隨著每年地表的抬升以及沈積物的堆積，到了蔦松文化時期古大灣海峽終於淤滿成陸，使台南台地與新化丘陵形成陸連。

蔦松文化時期之後，台灣就進入歷史時期，首先是荷治時期(1624年-1662年)，荷蘭人為台灣西南海岸留下許多珍貴的海圖如圖七(a)(b)所示(李等人，2012)。由圖七(b)可知「古台南島」與新化丘陵間的「古大灣海峽」已縮小成為南北向的小湖，並以小溪繞過台南台地北側注入台江內海，而蕭壠溪(古曾文溪)則由蕭壠(佳里)附近注入台江內海，在台南台地南方亦即「古台南島」的南部亦已淤滿成陸地，淡水溪(即二層行溪、二仁溪)直接流入台灣海峽。又由圖七(a)(b)亦可知，當時在台江內海的西側由二層行溪漢口向北有一連串無數的沙洲島包圍著台江內海及北側的倒風內海。

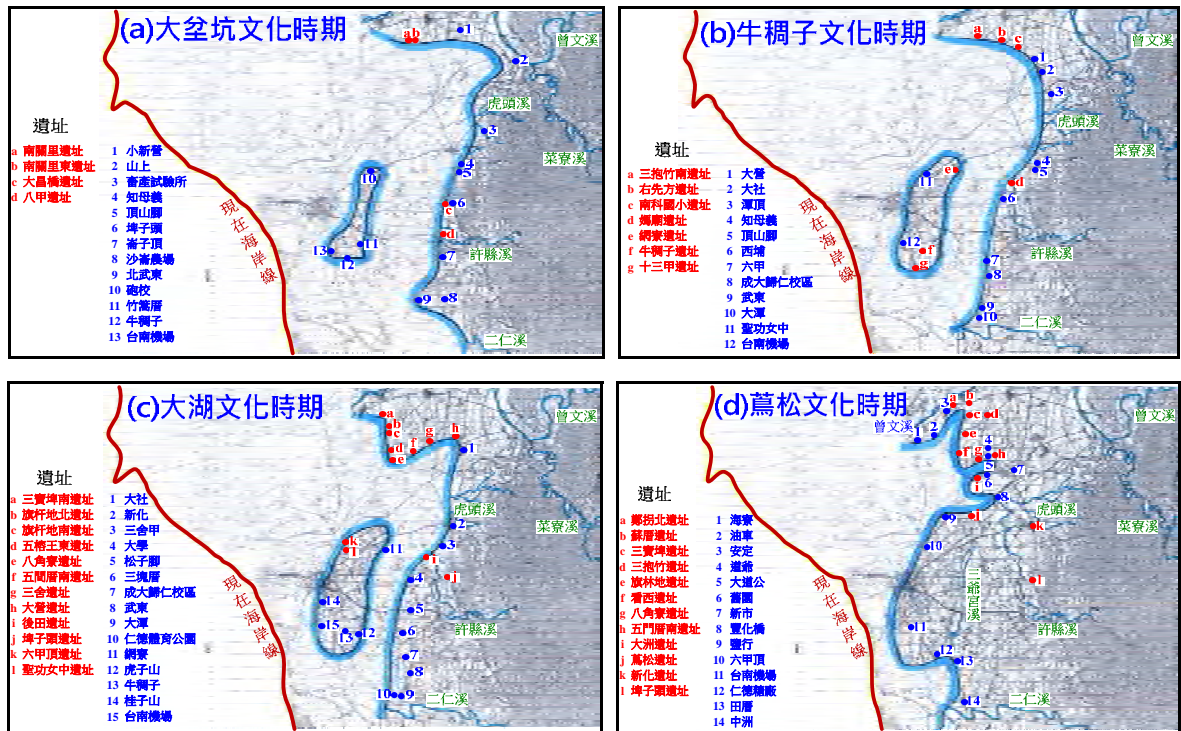


圖四 左鎮人時期推測海岸線位置圖(李等人，2015)



(a)大盆坑文化遺址、(b)牛稠子文化遺址、(c)大湖文化遺址、(d)蔦松文化遺址

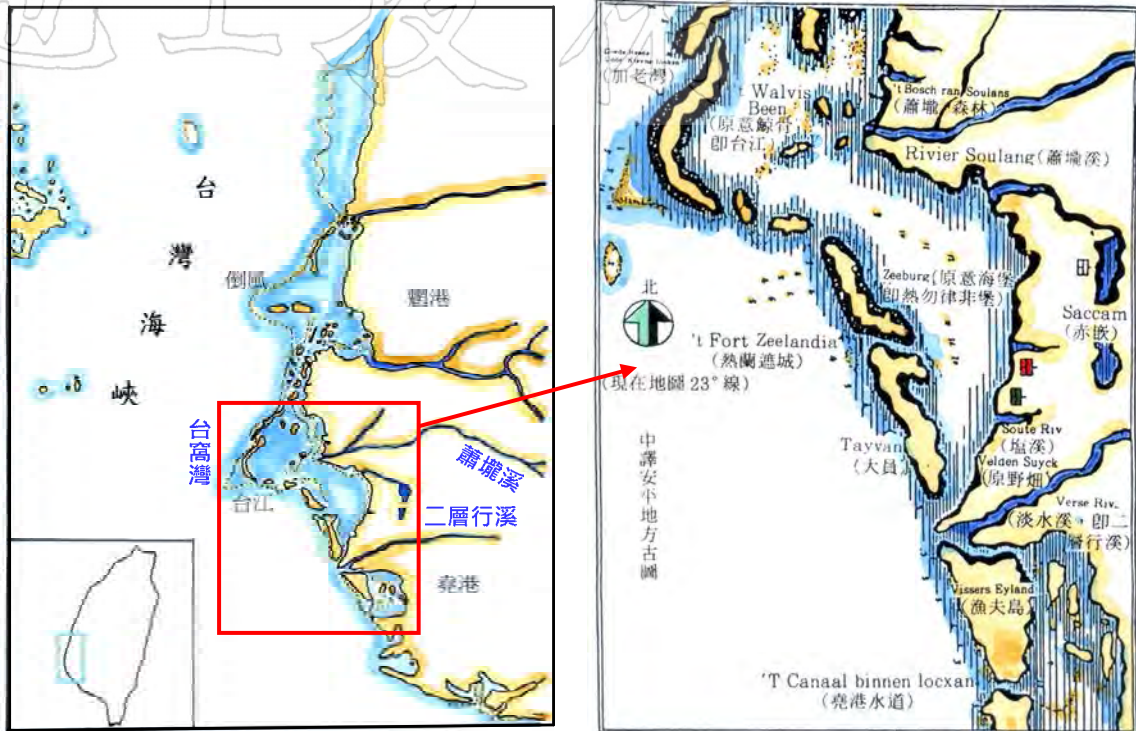
圖五 鹽水河流域文化遺址分佈圖(朱, 2012)



(a)大盆坑文化時期、(b)牛稠子文化時期(c)大湖文化時期、(d)蔦松文化時期

圖六 史前時期推測海岸線位置圖(李等人, 2015)

地工技術



(a) 荷蘭人所繪17世紀臺灣西南海岸圖

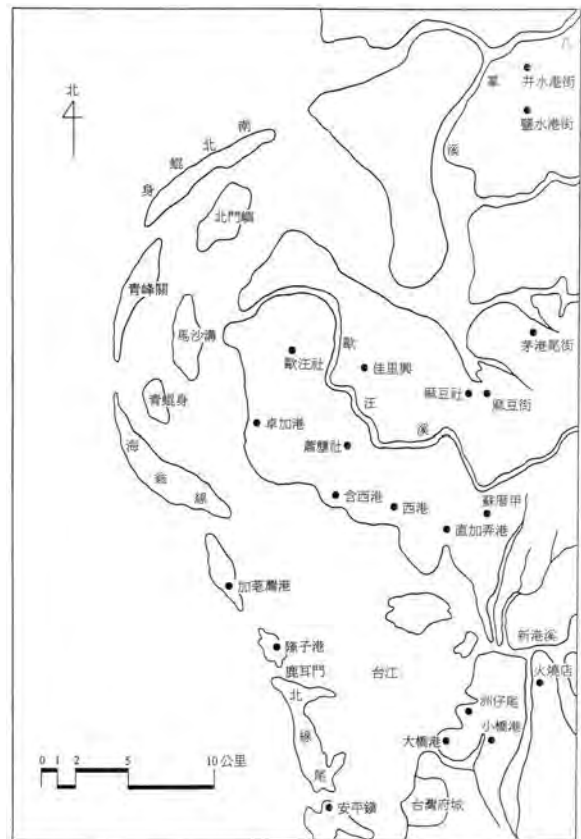
(b) 安平地方古圖

圖七 荷蘭人為台灣西南海岸留下許多珍貴海圖(李等人，2012)

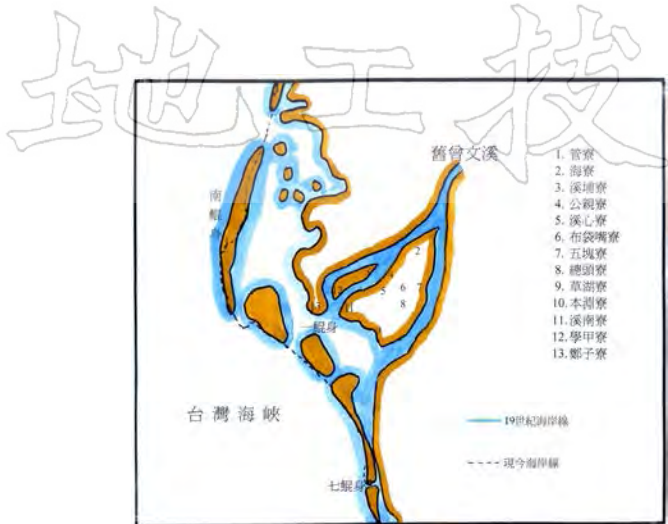
到了清初乾隆時代(18世紀)台南沿海形勢如圖八所示(楊，1992)。古曾文溪帶來的泥砂又將曾文溪向北推進，在台江內海的北部堆積增長出一片陸地，由蕭壠(佳里)向西延伸到馬沙溝附近，曾文溪則由歐汪社(將軍區)西北注入台江內海，此時曾文溪名為歐汪溪。

到了19世紀初1823年(清道光3年)，暴風雨襲擊台灣，引發台灣西南部山區土石崩落、山洪爆發，「原經蘇厝甲、穰仔林之間轉北過蕭壠社，由歐旺西流入海之灣裡溪(古曾文溪)，.....於蘇厝甲西邊沖缺溪岸，改道向西港南流注台江內海，洪流帶下內山崩陷泥沙、淤塞台江，於是內海變為浮浦。」，此時在台灣府城西北側的台江內海幾乎被淤滿，如圖九所示(李等人，2013)，而曾文溪自蘇厝甲以下分為南北二流，北側主流由鹿耳門流入台江內海，南側支流則在鹿耳門東邊向南流經安平入海。

曾文溪南側支流後來逐漸萎縮，在安定、善化之間的部份則縮小成為排水道及殘留一些自然堤防(河川地)及背後溼地(水塘、沼澤)，在永康以下的部份，則匯流許縣溪、大洲排水、柴頭港溪之後成為鹽水溪的下游河段。



圖八 清初台江內海形勢圖(楊，1992)



圖九 19世紀臺灣西南海岸示意圖(李等人, 2013)

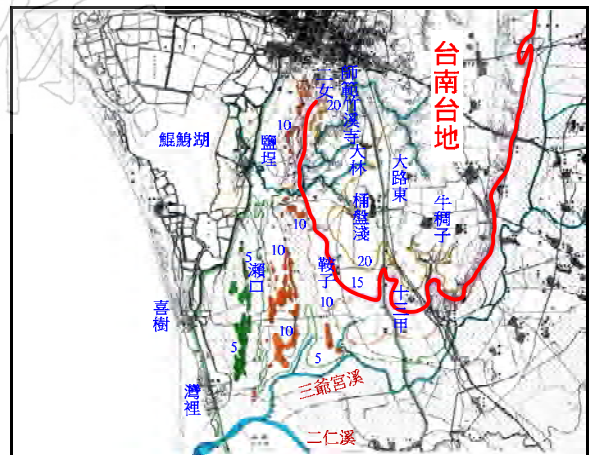
曾文溪後來又於1871年(清同治10年), 1903年(日明治37年)及1910年(日明治44年)三次改道, 最後一次則由七股與安南之間入海。日治時期, 沿溪岸築堤固流, 此後就不曾再改道。

再由1927年代台南南側的地形圖(圖十)(李等人, 2015)可見在台南台地西南側於二仁溪以北, 沿著海岸有灣裡、喜樹所在的沿海沙洲, 台江內海的南端亦縮小成一個小內海, 稱為鯤鯓湖。湖的東側與台南台地南端之間由鹽埕、喜樹、灣裡、鞍子所包圍的地帶佈滿與台地邊緣平行, 且南北延伸的砂丘, 此區稱為櫻丘砂丘群。

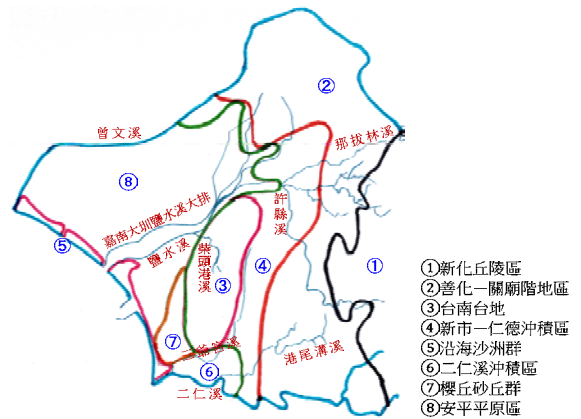
由上述可知台南市在曾文溪以南及二仁溪以北的範圍內, 自史前左鎮人時期(30,000年前-20,000年前)以來, 海岸線不斷的改變, 河川不停的改道、合流、沖積, 加上戰後人為大量的填海造陸、開挖回填等, 終於形成當今的地形、地貌。

由於海岸線的改變造成沈積環境的變化, 河川的改道、延伸, 亦使河川所帶來土砂的淤填位置產生遷移, 再加上偶發性的山洪爆發, 挾帶大量土石淤填, 使得不同的沈積環境在不同時期所形成的土層具有豐富的多樣性。

綜合上述可將台南地區在曾文溪以南及二仁溪以北的區域中, 劃分出不同的沈積環境, 依其形成之先後順序, 分別加以說明(參照圖十一)。首先將左鎮人時期(30,000年前-20,000年前)的海岸線以東的區域, 約在當今海拔高程35公尺以上部份, 是屬於更新世晚期以前所沈積而成, 稱之為①新化丘陵區。其次由大坌坑文化時期(6,000年前-4,500年前)經牛稠子文



圖十 日治時期1927年代府城南邊地形圖(李等人, 2015)



圖十一 曾文溪以南二仁溪以北區域之沈積環境劃分

化時期(4,500年前-3,500年前)到大湖文化時期(3,500年前-2,000年前)前後約4,000年之間, 海岸線逐漸向西移動, 在新化丘陵區的西側形成了海岸階地, 因此將大湖文化時期的海岸線與新化丘陵之間的區域稱為②善化-關廟階地區, 同一期間③台南台地亦逐漸上浮, 到了大湖文化時期時, 由出土的貝塚遺址的位置可將台南台地的範圍定出, 其西側與平原、砂丘接壤, 東側則以後甲里斷層為邊界, 形狀似長軸在西北東-南南西方向之橢圓。

在蔦松文化時期(2,000年前-400年前), 海岸線已退到台南台地的西側, 善化-關廟階地與台南台地之間的海域則被淤滿, 稱此區域為④新市-仁德沖積區。

到了荷治時期(1624年-1662年), 由荷蘭人所繪熱蘭遮城(Fort Zeelandia)附近海圖, 如圖七(a), 可見台南台地南側陸地已延伸到二仁溪口, 同時自二仁溪口向北有一系列的沿海沙洲島, 如熱蘭遮城所在的「古大員島」及

地工技術

其北側的「古北線尾島」，所以將沿著台灣海峽自二仁溪口以北的灣裡－喜樹－安平－鹿耳門到曾文溪口一線的沙洲島群稱為⑤沿海沙洲群，包括一鯤鯓(古大員島)、二鯤鯓、三鯤鯓、四鯤鯓等處，而由沿海沙洲島群與台南台地之間所圍成的海域就是台江內海。

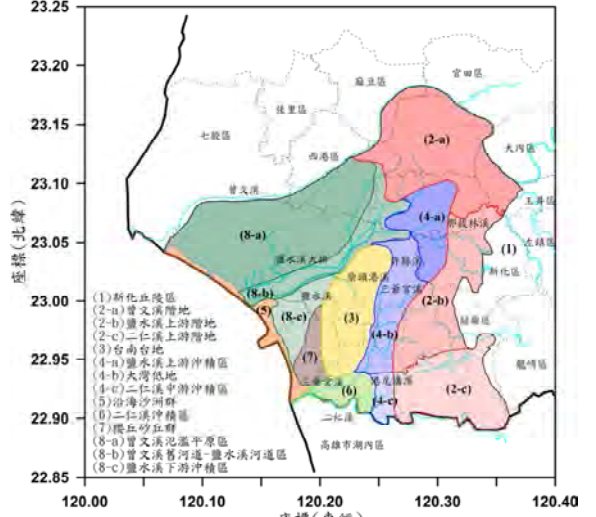
同時，在台南台地南側與二仁溪之間所新形成的陸地則稱之為⑥二仁溪沖積區，而台地西南側與喜樹、灣裡間的狹長地帶是為⑦櫻丘砂丘群。在蔦松文化時期的海岸線以西，台南台地及櫻丘砂丘群以北，沿海沙洲群以東及曾文溪以南的區域則在歷年來曾文溪多次河道的改變以及山洪爆發帶來無數土石泥砂的淤填，以及鹽水溪帶來的土砂沖積，最後終被淤填成為只剩兩處的小水域，在安平北側的稱為四草湖，在南邊的稱為鯤鯓湖，而此古台江內海被淤滿的範圍形似一個倒三角形，稱之為⑧安平平原區。

由於②善化－關廟階地區、④新市－仁德沖積區及⑧安平平原區，都分別受到曾文溪、鹽水溪、二仁溪河系的影響，因此②善化－關廟階地區可再以鹽水溪上游那拔林溪為界，以北稱為②-①曾文溪階地。其次是以二仁溪支流港尾溝溪及其上游二甲溪以北，那拔林溪以南稱為②-①鹽水溪上游階地，其餘港尾溝溪以南部份稱為②-③二仁溪上游階地，如圖十二所示。同時，④新市－仁德沖積區可以再依受不同河系的沖淤分成④-①鹽水溪上游沖積

區；即在鹽水溪的支流許縣溪以北的部份，④-①大灣低地：介於許縣溪與台南台地南端、港尾溝溪之間的部份，④-③二仁溪中游沖積區：在台南台地南端、港尾溝溪與二仁溪之間的部份，由於此區太小，可以併入⑥二仁溪沖積區內，示於圖十二。

同樣，⑧安平平原區由於曾文溪的氾濫、改道頻發，沖積特性變化多端，加上平原南端受鹽水溪、台南台地、櫻丘砂丘群的影響頗大，可將之再分成⑧-①曾文溪氾濫平原區、⑧-②曾文溪舊河道－鹽水溪河道區及⑧-③鹽水溪下游沖積區，參照圖十二。

將以上各沈積環境分區及其沈積物的可能來源列表，如表一所示。



圖十二 曾文溪以南、二仁溪以北區域之主要沈積環境細分

表一 曾文溪以南、二仁溪以北區域之沈積環境分區及沈積物之來源

沈積環境分區	細分編號	沈積物來源
①新化丘陵區	新化丘陵區①	台灣西南部麓山帶
②善化－關廟階地區	曾文溪階地②-①	曾文溪上游
	鹽水溪上游階地②-①	鹽水溪上游、新化丘陵
	二仁溪上游階地②-③	二仁溪上游、新化丘陵
③台南台地	台南台地③	新化丘陵、古曾文溪、古二仁溪
④新市－仁德沖積區	鹽水溪上游沖積區④-①	鹽水溪上游階地、曾文溪階地
	大灣低地④-①	台南台地、鹽水溪上游階地
	二仁溪中游沖積區④-③	二仁溪上游階地
⑤沿海沙洲群	沿海沙洲群⑤	曾文溪、二仁溪
⑥二仁溪沖積區	二仁溪沖積區⑥	二仁溪上游、台南台地
⑦櫻丘砂丘群	櫻丘砂丘群⑦	沿海沙洲群、台南台地
⑧安平平原區	曾文溪氾濫平原區⑧-①	曾文溪上游
	曾文溪舊河道－鹽水溪河道區⑧-②	曾文溪上游、鹽水溪上游、台南台地
	鹽水溪下游沖積區⑧-③	鹽水溪上游、台南台地、櫻丘砂丘群

三、台南震害區各沈積環境分區之地層屬性

美濃地震在台南地區引發土壤液化及結構物震毀等災害，主要分佈於曾文溪以南及二仁溪以北的範圍內，上節已將此範圍的沈積環境加以區分，本節則對主要的沈積環境中所沈積的地層進行探討。

首先根據中央地質調查所於此區域的工程鑽探資料(李等人, 2004)，繪出各主要沈積環境細分區的代表性鑽孔柱狀圖(鑽探深度30m-40m)，並說明土層特性。各鑽探孔位的分佈如圖十三所示，各細分區具代表性的鑽孔柱狀圖及土層則依剖面A、B、C、D、E之順序示於圖十四-十八。今將主要沈積環境細分區的土層特性分別說明如下：

1. 曾文溪階地(②-④)(鑽孔E43、E46)(見圖十四)：地表下8-10m為軟弱至中等強度的ML、SM土層，偶夾CL薄層，地表下10m以下為中等強度至堅硬的SM或SP土層，偶夾CL薄層。

2. 鹽水溪上游階地(②-⑥)(鑽孔E61、E64、E62)(見圖十四)：地表下4-6m為軟弱的ML、CL，地表下6-18m為中等強度的SM、ML，其下為一層2m-10m軟弱CL，再下則為堅硬的SM、ML土層，在E61孔東側之E62孔(參照圖十七)於地表下14m以下則為泥岩。

3. 二仁溪上游階地(②-③)(鑽孔E77、E80)(見圖十四)：地表下4-6m為軟弱的SM、CL，其下有8-20m的中等強度SM，及2-10m中等強度CL，最下方在地表下約26m處則出現泥岩岩盤。

4. 鹽水溪上游沖積區(④-⑤)(鑽孔E49、E50)(見圖十五)：地表下8-12m為軟弱的CL土層或CL、SM、ML互層，其下方有14-16m低到中等強度的SM、ML土層，夾有CL土層，地表下24-28m以下則為中等強度的SM互層。

5. 大灣低地(④-⑥)(鑽孔E60)(見圖十七)：地表下2-8m、12-21m為軟弱的ML、CL土層，中間在地表下8-12m夾中等強度的SM、ML層，地表下21m以下則為堅硬的SM層。

6. 台南台地(③)(鑽孔E27、E31)(見圖十

七)：在台地東緣自地表下1-30m為中等至堅硬厚SM土層夾CL薄層，而在台地中央偏西處，在地表下8m以內為中低強度SM夾CL土層，地表下10-16m為中等緊密的SM土層，地表下16m以下為風化泥岩及泥岩層。

7. 二仁溪沖積區及二仁溪中游沖積區(⑥、④-③)(鑽孔E74、E75)(見圖十八)：在地表下6-8m為軟弱的CL、SM互層，地表下9m以下則有巨厚且中等到緊密的SM土層偶夾CL薄層。

8. 曾文溪氾濫平原區(⑧-⑧)(鑽孔E03、E09、E06、E07)(見圖十五)：在地表下14-18m為軟弱的SM、ML、CL互層，其下則為巨厚的中等緊密SM土層偶夾CL薄層。

9. 曾文溪舊河道－鹽水溪河道區(⑧-⑥)(鑽孔A01)(見圖十六)：地表下8m內為軟弱SM土層，地表下8-25m為中等緊密SM土層，中夾CL薄層，地表下27m以下則屬堅硬的SM層。

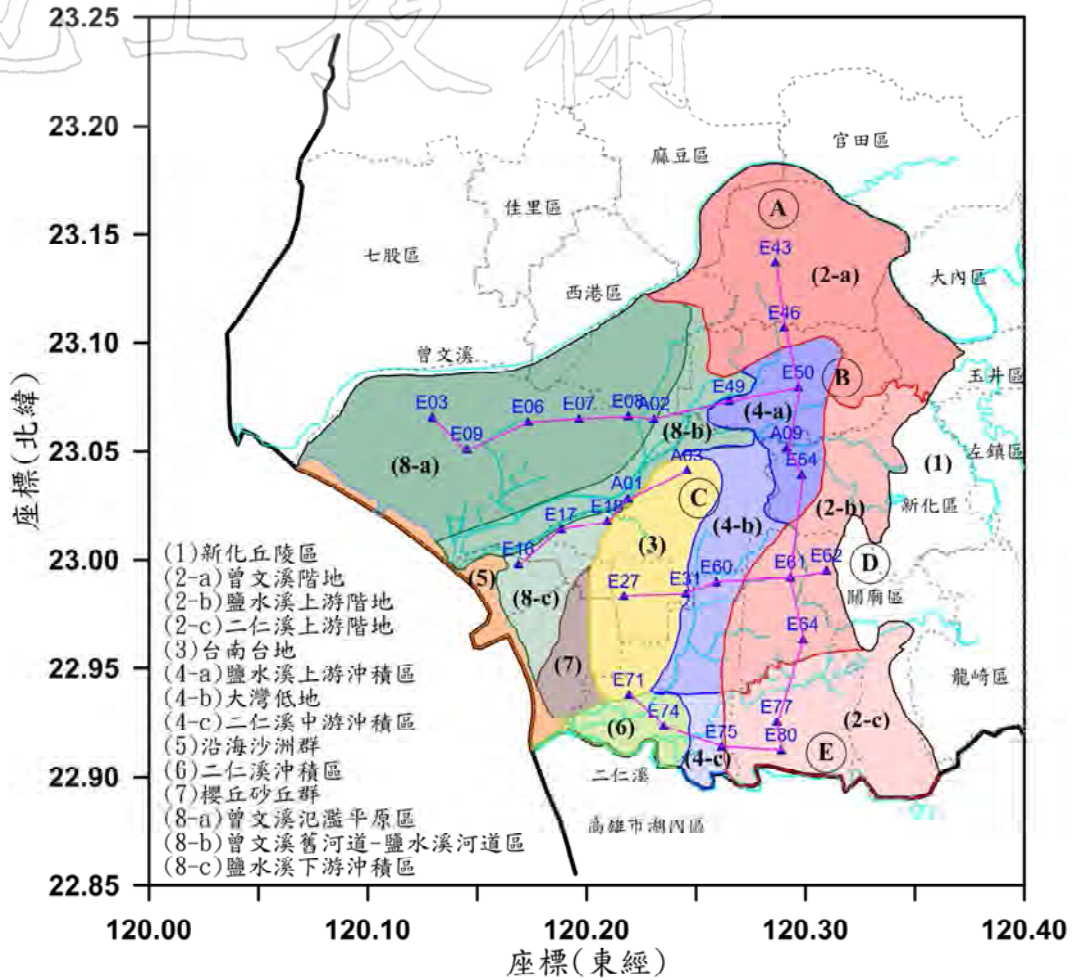
10. 鹽水溪下游沖積區(⑧-③)(鑽孔E17、E18)(見圖十六)：在鹽水溪下游沖積區最靠近鹽水溪之處，在地表下18m以內為軟弱至中低強度的SM偶夾CL土層，地表下18m以下則屬中等到緊密的SM土層。

由以上各主要沈積環境分區的土層分佈情形可以得知曾文溪以南二仁溪以北的範圍內，地層特性的概要如下：

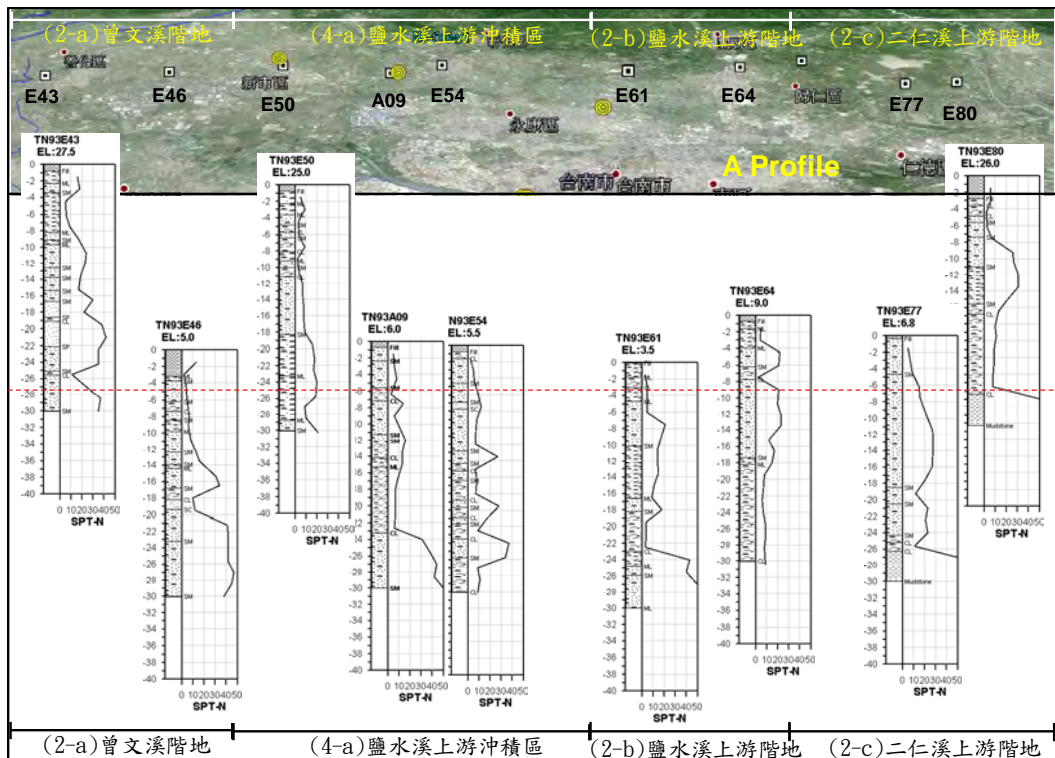
泥岩岩盤出現在地表下30-40m以內的區域有③台南台地(E27)及②-③二仁溪上游階地(E77、E80)及②-⑥鹽水溪上游階地(E62)，亦即在③台南台地及其東側、東南側岩盤較接近地表，西北側則深埋沖積層下方。

關於軟弱土層的厚度，在③台南台地西北側的⑧-⑧曾文溪氾濫平原區，地表下有厚達14-18m的軟弱土層，其為SM、ML、CL之互層。東北側的②-④曾文溪階地的軟弱土層約有8-10m，為SM、ML土層偶夾CL薄層，東北邊的④-⑤鹽水溪上游沖積區，地表下有8-12m的軟弱土層是由巨厚的CL土層(E49)或SM、ML及CL的互層組成。在③台南台地西側的⑧-③鹽水溪下游沖積區的北側(E17、E18)則有厚達18m之軟弱至中低強度的SM土層。

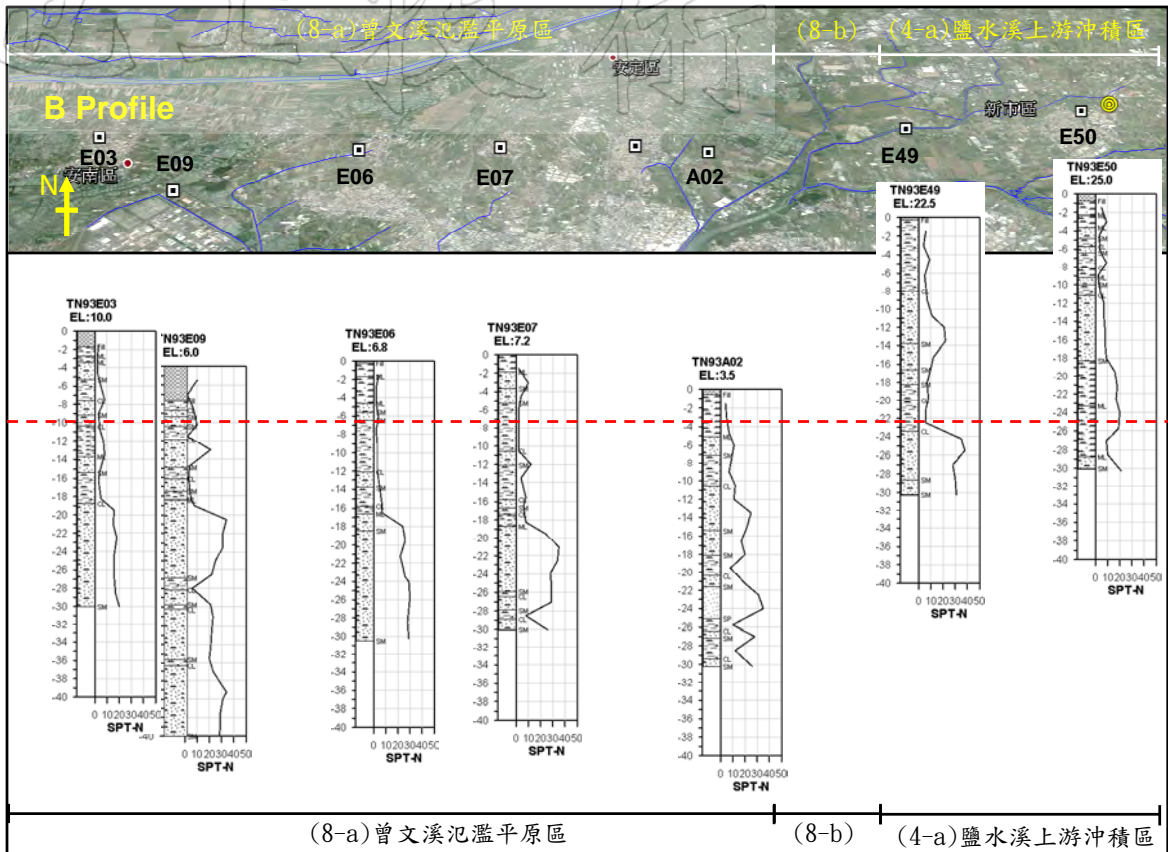
地工技術



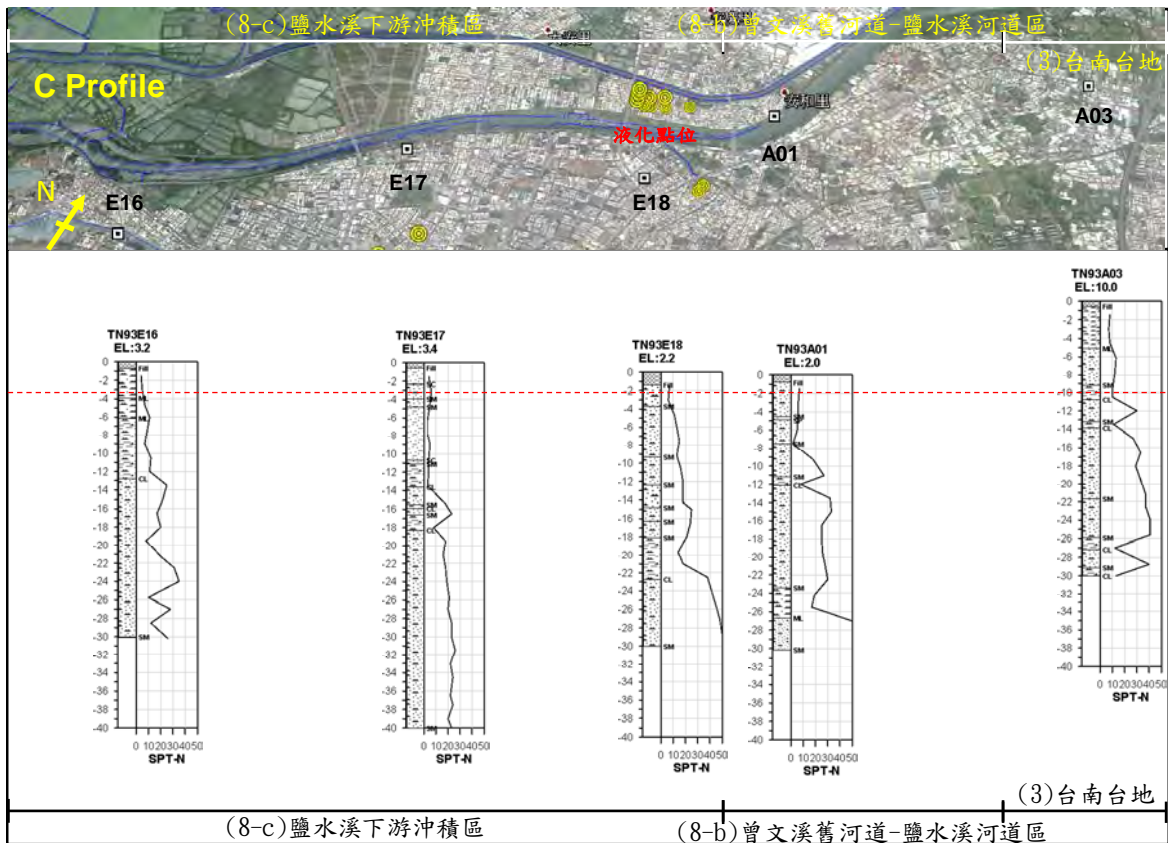
圖十三 各沈積環境分區與代表性工程鑽探孔位圖及A、B、C、D、E剖面圖



圖十四 A剖面(曾文溪階地—鹽水溪上游沖積區—鹽水溪上游階地—二仁溪上游階地)之地層柱狀圖

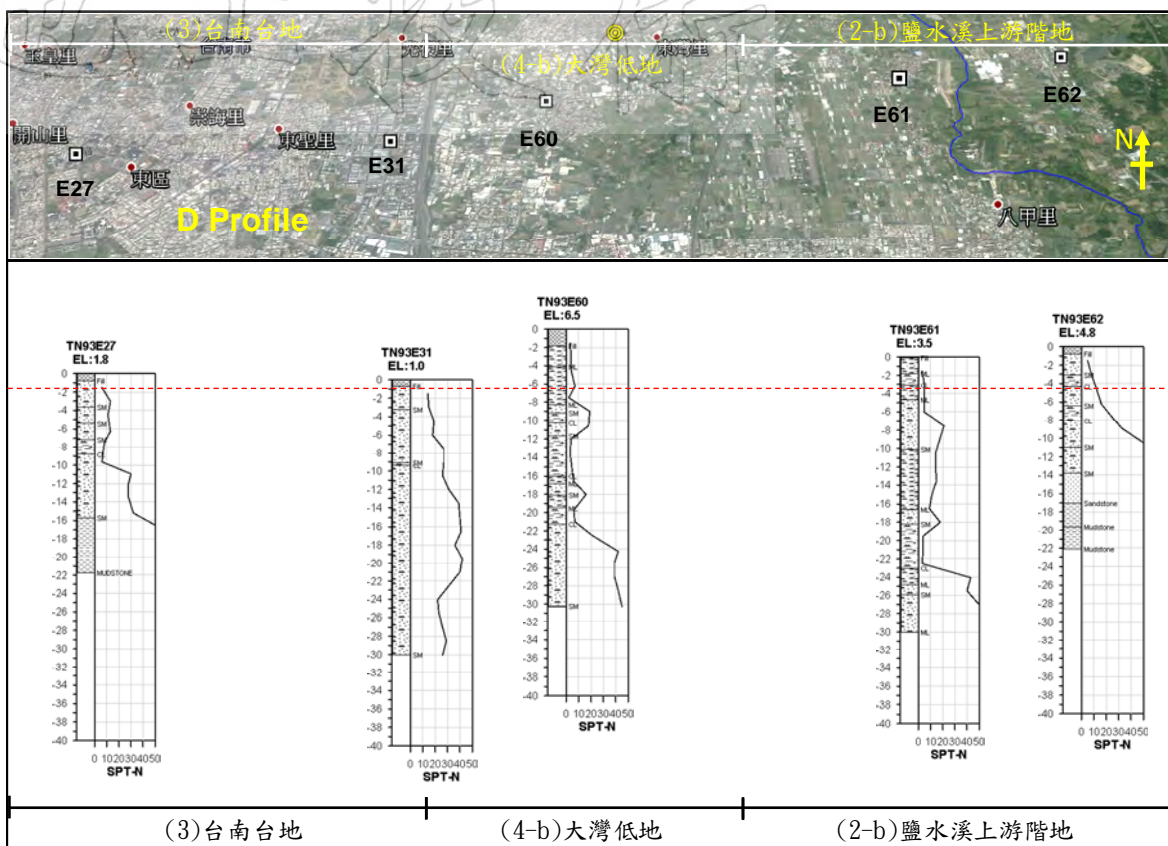


圖十五 B剖面(曾文溪氾濫平原區—鹽水溪上游沖積區)之地層柱狀圖

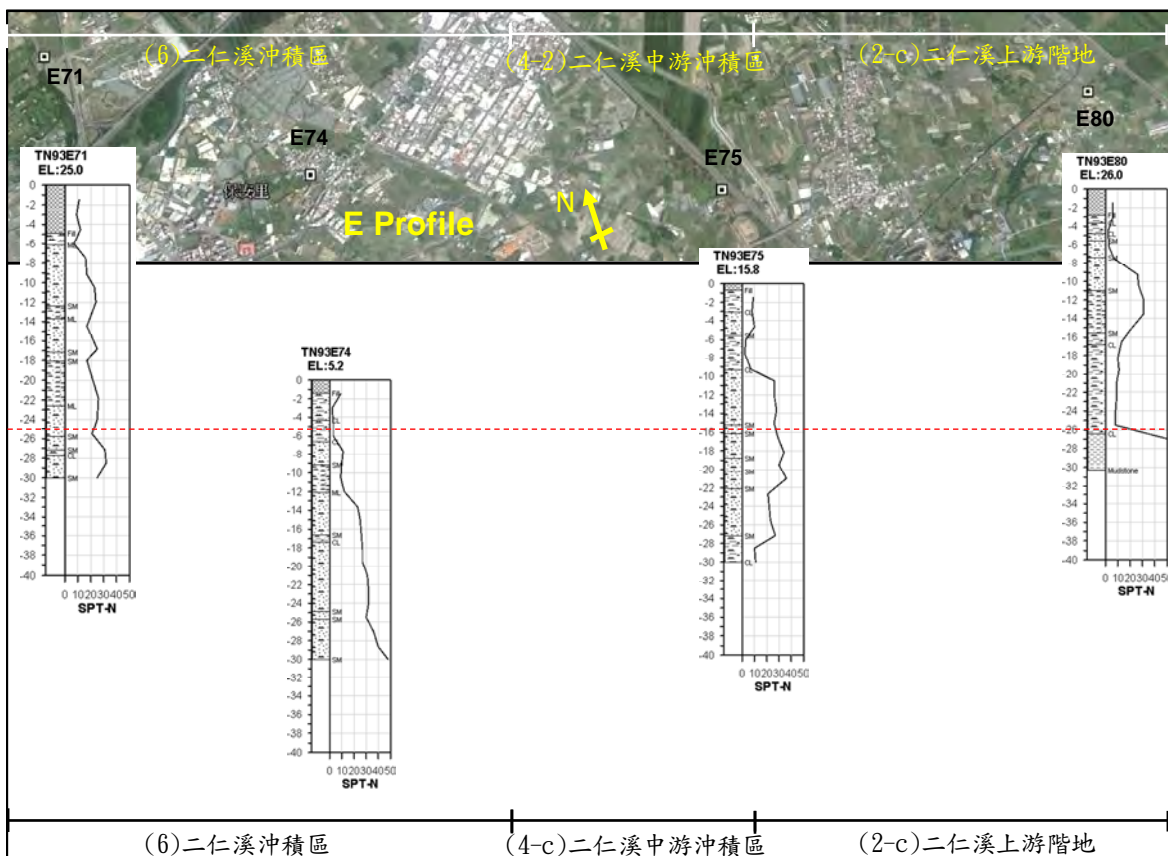


圖十六 C剖面(鹽水溪下游沖積區—曾文溪舊河道—鹽水溪河道區—台南台地)之地層柱狀圖

地工技術



圖十七 D 剖面(台南台地—大灣低地—鹽水溪上游階地)之地層柱狀圖



圖十八 E 剖面(二仁溪沖積區—二仁溪中游沖積區—二仁溪上游階地)之地層柱狀圖

再觀③台南台地東南側的②-③二仁溪上游階地(E77、E80)，在地表下附近的軟弱土層厚度有4-6m，是SM及CL的互層。在③台南台地南邊的⑥二仁溪沖積區及④-③二仁溪中游沖積區(E74、E75)，地表下的軟弱土層只有6-8m厚度，也是SM及CL互層。

因此可知在③台南台地西北側、西側的沈積環境中，軟弱土層厚度約14-18m，在東北側則有8-12m之軟弱土層，而在台地的南側及東南側則只有4-8m，表示軟弱土層在③台南台地東側、南側較西側、北側為薄。

在③台南台地北側的⑧-④曾文溪氾濫平原區是由曾文溪氾濫時將上游大量的土石沙泥未經自然篩選淤填而成，所以其近地表的軟弱土層是由SM、ML及CL之互層組成，而③台南台地西側的⑧-③鹽水溪下游沖積區，除了接受鹽水溪由上游帶來的泥砂外，臨近的③台南台地的地表侵蝕及切割台地的柴頭港溪也帶來大量的台南層土砂，其是古砂丘的土砂，粒徑較為均勻，因此⑧-③鹽水溪下游沖積區的北側之地表軟弱土層主要是由SM或SC所形成。至於③台南台地東南側⑥二仁溪沖積區，是由③台南台地南端及二仁溪上游泥岩區提供料源沖積而成，其地表附近的軟弱土層含有大量的泥岩風化物，所以大都是由SM及CL互層形成。

④-⑥大灣低地是夾在③台南台地及②-⑥鹽水溪上游階地之間，兩側沈積環境中在地表下16m處(E27)及14m(E62)就出現泥岩岩盤，而④-⑥大灣低地的鑽孔E60在地表下21m以內為軟弱的SM、ML、CL互層，到地表下30m尚未見到泥岩，所以④-⑥大灣低地可視為一南北向長條形的凹槽盆地，盆地表層有巨厚的軟弱土層。

由上述可知由曾文溪到二仁溪之間的台南震害區，若以台南台地為中心而觀，其西側、北側的沈積環境之基盤深埋地下，地表附近的軟弱土層較厚，而台南台地的南側、東側，泥岩基盤存在於地表下較淺之處，且地表附近之軟弱土層較薄且明顯含有較多之CL，亦即由整體而觀，台南台地的西、北側及東北側的沈積環境分區之地盤是屬於“軟”地盤，而

台南台地的東南側、南側之沈積環境分區則是屬於較“硬”的地盤。

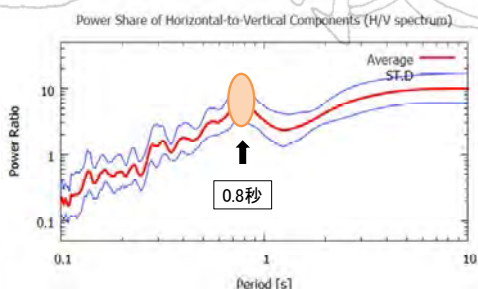
美濃地震後日本京都大學清野純史教授曾以微地動分析儀在台南台地北側⑧-⑥曾文溪舊河道—鹽水溪河道區內接近孔位A02之國立台灣歷史博物館前、台地東北邊之④-③鹽水溪上游沖積區內接近孔位E50之新市區三民街液化區內以及在台地東南側②-③二仁溪上游階地內高鐵台南站(E77)旁邊之公園量測微地動的卓越週期，得結果如圖十九(a)、(b)、(c)，圖十九(a)、(b)顯示在國立台灣歷史博物館前的地盤震動卓越週期為0.8秒，而由圖十九(b)可見新市區三民街液化區內之地盤震動卓越週期為1秒，高鐵台南站旁邊公園內之地盤震動卓越週期為0.6秒(見圖十九(c))，由此可見高鐵台南站的地盤較國立台灣歷史博物館附近以及新市區三民街的地盤更為“堅硬”。此外清野教授亦在台南台地的東邊，鹽水溪上游階地的西側，具有巨厚軟弱土層之大灣低地內的永康維冠金龍大樓旁邊量取該地的地盤震動卓越週期，如圖十九(d)所示，測得週期在1秒及2-3秒有尖峰值，亦即其卓越週期約在2秒左右，明確屬於“軟”地盤。

四、地盤的軟、硬與震害的關係

由圖二十(大崎，1993)所示，地盤的軟硬程度的不同，會影響到地震時引發震害的種類以及地盤上構造物受害的程度。地盤越堅硬，地震時較會引起“剛構造”與“硬地盤”產生共振，而使“剛構造”受到較大的震害。所謂“剛構造”是指使用混凝土等材料構築而成，其形狀較粗壯的構造物。反之，地盤越軟弱，則易使地震波產生增幅作用，並使“柔構造”與“軟地盤”產生共振而受到較大的震害。所謂“柔構造”是指如木構造、鋼骨構造或形狀瘦高的混凝土構造物。再依許(1999)的建議，我國的混凝土構造物的固有基本振動週期可依樓層數概估求得，如圖二十一所示，即每增加一層樓，其基本振動週期約增加0.1秒。所以7層之建築物的基本振動週期約為0.7秒，而39層之建築物之基本振動週期則約為3.9秒。

地工技術

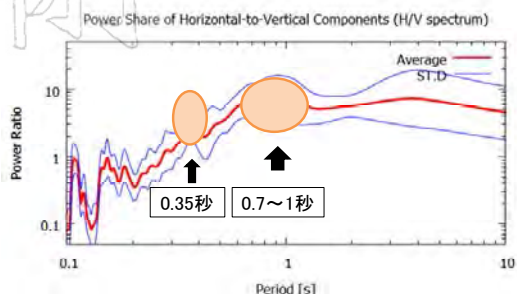
國立台灣歷史博物館前



(a) 國立台灣歷史博物館前

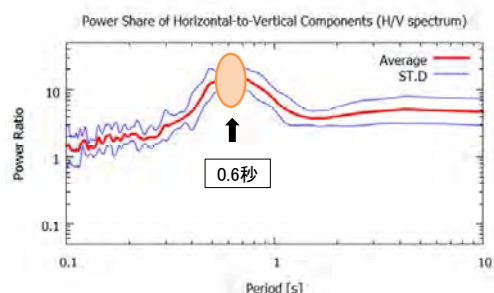
地工技術

三民街の住宅地にある空地



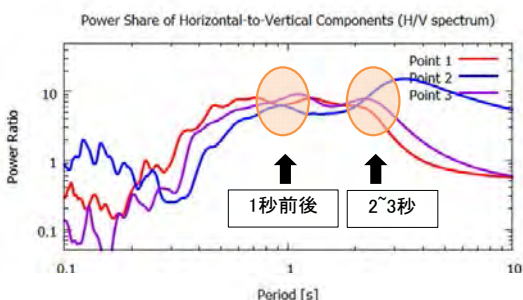
(b) 新市區三民街

高鐵台南駅横の公園



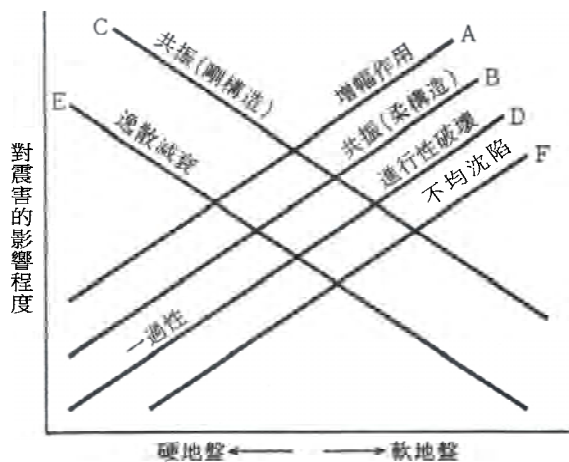
(c) 高鐵台南站邊公園内

倒壊ビル付近

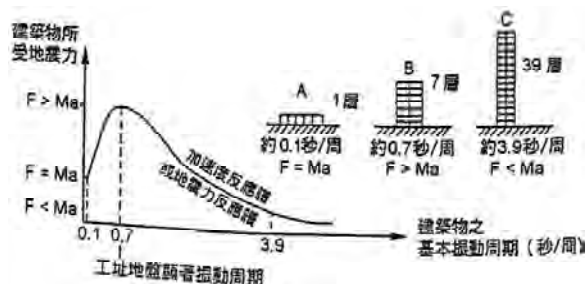


(d) 永康維冠金龍大樓附近

圖十九 地盤微地動調査結果



圖二十 地盤軟硬與其對震害的影響關係圖(大崎, 1993)



圖二十一 不同樓層建築物之地震力反應譜(許, 1999)

在美濃地震時台南震害區內的震害分佈情形如圖一、二所示，若將位於台南台地的台南車站與新化連成一線，則土壤液化災害的受災區都在線之北側，而結構物的震損大都發生在線之南側。

亦即土壤液化災區都發生在台南台地的西側、北側及東北邊，是屬於軟弱地層較厚或軟地盤之處，而民宅震損、市場倒塌都發生在台南台地的南側及東南側，為硬地盤或軟弱地層較薄之處。

然而如圖一所示，同樣是地表下有厚的軟弱土層，但主要的土壤液化災害多發生在⑧-⑨曾文溪古河道-鹽水溪河道區及⑧-③鹽水溪下游沖積區的北側，卻少發生在⑧-⑨曾文溪氾濫平原區，除了地震時傳遞而來的能量不同外，其可能是二者雖同具厚的軟弱土層，但前者多為SM的軟弱土層，後者卻是由SM、ML及CL互層所構成之故。

五、結論

經由參考史前不同時期的文化遺址之出土位置，以及歷代古地圖的記載，可以知道我

國西南部台南地區海岸線遷移及陸地形成的順序，並可將此區域分成8處主要的沈積環境，即①新化丘陵區、②善化—關廟階地區、③台南台地、④新市—仁德沖積區、⑤沿海沙洲群、⑥二仁溪沖積區、⑦櫻丘砂丘群及⑧安平平原區。而後，再依據沈積環境受到曾文溪、鹽水溪、二仁溪的影響情形，將②善化—關廟階地區、④新市—仁德沖積區及⑧安平平原區等較大沈積環境再細分成三區，總共可將此區域分成14個沈積環境分區。

依據各個沈積環境中具代表性的工程鑽探井的資料，可以瞭解其地層構造及土質種類之特性，比較其結果可概略知曉在台南台地北側、西側及東北邊的沈積環境，於地表下30-40m的範圍內未見岩盤出露，並具有較厚的軟弱土層，約有十數公尺，屬於軟地盤。而台南台地南側、東南側的沈積環境，泥岩在地表下30公尺以內頻頻出現，且軟弱土層較薄約在8公尺以內，屬於硬地盤。

美濃地震時發生中、低高度結構物震損的區域如台南市的東區、仁德區、歸仁區、關廟區等皆位於台南台地的南側及東南側，與此區域多屬“硬地盤”不無關係。

此外，在台南台地南側、東南側區域的軟弱土層雖然較薄，但也有4-8m，於美濃地震時，未見大面積的土壤液化災害，可能與此區的軟弱地層中充滿由二仁溪上游泥岩區帶來豐富的細粒料有關。反之，在台南台地的北側、西北側未見“剛構造”的民宅、菜市場震毀，應與此區域有厚層軟弱土層而屬於“軟地盤”有關。同時，此區域尚未高度開發，少見瘦高型的“柔構造”，無法與“軟地盤”產生激烈共振，也是此區未見大樓倒塌災害的原因之一吧！

誌 謝

本文在撰寫、編排過程中承李璧玲小姐在文章、圖表的整理、修正上鼎力協助，使本文能順利完成，於此特表致謝。

參考文獻

- 中央氣象局 (2016)，「地震活動彙整」
http://www.cwb.gov.tw/V7/earthquake/rtd_eq.htm (2016年3月23日)。
- 台南市政府水利局 (2016)，內部資料。
- 朱正宜 (2012)，「鹽溪合水趣府城—鹽水溪文化資產特展圖錄」，台南市文化資產保護協會、財團法人樹谷文化基金會，第41-62頁。
- 李德河、王惠貞、李璧玲 (2013)，「臺南市南區桶盤淺、鹽埕地區文史資源—耆老訪談調查計畫成果冊」，台南市文化資產保護協會，第9-15頁。
- 李德河、李璧玲、王惠貞 (2012)，「鹽溪合水趣府城—鹽水溪文化資產特展圖錄」，台南市文化資產保護協會、財團法人樹谷文化基金會，第20-31頁。
- 李德河、鍾廣吉、古志生、廖志中、胡賢能、莊長賢、林炳森、蔡百祥、傅志偉等 (2004)，「新竹、苗栗與台南都會區地下地質與工程環境調查研究鑽探報告」，國立成功大學公共工程研究中心，經濟部中央地質調查所委辦計畫。
- 李德河 (2015)，「東都垂萬年—台南市南疆文化資產特展圖錄」，台南市文化資產保護協會出版，第67-84頁。
- 國家地震中心 (2016)，「Overview of buildings in Tainan City」，建物組簡報資料。
- 許茂雄 (1999)，「建築結構系統」，成功大學建築文教基金會，台南成功大學建築系，第24頁。
- 楊仁江 (1992)，「四草砲台(鎮海城)之調查研究與修護」，臺南市政府，第21頁。
- 大崎順彥 (1993)，「地震と建築」，岩波書店，日本，第149頁。